

УДК 614.841.33; DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-212-221

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДОРОДНЫХ ЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

✉ Егоров Андрей Александрович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ andreey-e@mail.ru

Аннотация. Рассматривается обслуживание водородных заправочных станций. Предложены меры по обеспечению пожарной безопасности указанного объекта защиты. Показаны различия водородной заправочной станции и автомобильной газовой заправочной станции по конструктивным особенностям, обеспечению пожарной безопасности, а также по эксплуатации объектов. Уделяется внимание хранению водорода, а также обеспечению безопасности объекта защиты. Рассмотрен процесс заправки транспортных средств, предложены способы защиты от взрывопожароопасных ситуаций на примере конструктивных особенностей сооружения и работы сотрудников водородных заправочных станций. Проанализирован экономический эффект от мер по снижению пожарной опасности водородных заправочных станций.

Ключевые слова: водород, углеводородный газ, заправочная станция, конструктивные особенности, пожарная безопасность, экономический эффект

Для цитирования: Егоров А.А. Особенности обеспечения пожарной безопасности водородных заправочных станций при их эксплуатации // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 4 (72). С. 212–221. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-212-221.

Scientific article

FEATURES OF ENSURING FIRE SAFETY OF A HYDROGEN FILLING STATION DURING THEIR OPERATION

✉ Egorov Andrey A.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ andreey-e@mail.ru

Abstract. The article discusses the operation of a hydrogen refueling station. Measures to ensure the fire safety of the specified object of protection are proposed. A comparison of a hydrogen filling station and an automotive gas filling station is carried out in terms of design features, fire safety, as well as the operation of facilities. Special attention is paid to the storage of hydrogen, as well as ensuring the safety of the object of protection. The process of refueling vehicles is considered, and methods of protection against explosive and fire-hazardous situations are proposed using the example of the design features of the construction and work of employees of a hydrogen filling station. The economic effect of measures to reduce the fire hazard of hydrogen filling stations is analyzed.

Keywords: hydrogen, hydrocarbon gas, filling station, design features, fire safety, economic effect

For citation: Egorov A.A. Features of ensuring fire safety of a hydrogen filling station during their operation // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2024. № 4 (72). P. 212–221. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-212-221.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2024

Введение

Использование альтернативных источников энергии с использованием водорода является актуальным. Его неограниченное количество в природе позволяет значительно повысить экономическую эффективность производства [1].

Для обслуживания транспортных средств на водороде предполагается эксплуатация водородных заправочных станций (ВЗС). В зарубежных странах осуществляется их создание и внедрение. При анализе международного опыта в обеспечении безопасности ВЗС установлено, что необходимо стремиться улучшать эффективность работы станций путем повышения уровня их безопасности. В работах [2, 3] рассмотрены способы хранения водорода и его транспортировки, в частности, на примере отдельных зарубежных стран сделан акцент на проблемах при эксплуатации и взрывопожароопасность.

В исследованиях [4, 5] поднимается вопрос целесообразности и повышения эффективности эксплуатации ВЗС¹. Рассматриваются как технологическое состояние станций, так и меры по снижению взрывопожароопасности. Однако как единой концепции обеспечения пожарной безопасности, так и нормативной документации по указанным вопросам не существует. Это приводит к использованию ВЗС в качестве автомобильных газовых заправочных станций (АГЗС). При эксплуатации ВЗС в зарубежных странах ориентируются на документы – ISO/TS 20100:2008 и ISO 19880–1:2020 «Gaseous hydrogen – Fuelling stations». В Российской Федерации они представлены как ГОСТ Р 5526–2012/ISO/TS 20100:2008 «Водород газообразный. Заправочные станции»^{2,3}. В указанных документах отсутствуют меры по обеспечению пожарной безопасности, поэтому необходима разработка новых нормативных актов и дополнение существующих, направленных на обеспечение защищенности ВЗС для дальнейшего их строительства и эксплуатации. Это нужно для обеспечения сохранности жизни и здоровья граждан, а также материального имущества, которое может находиться непосредственно в зоне поражения ВЗС. Цель работы заключается в определении экономического эффекта от мер по обеспечению пожарной безопасности ВЗС.

Методы исследования

Исследование проблемы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации ВЗС осуществлялось с использованием аксиоматического метода, моделирования, аналогии и сравнения с АГЗС с проведением расчетов экономической эффективности ВЗС.

Исследование

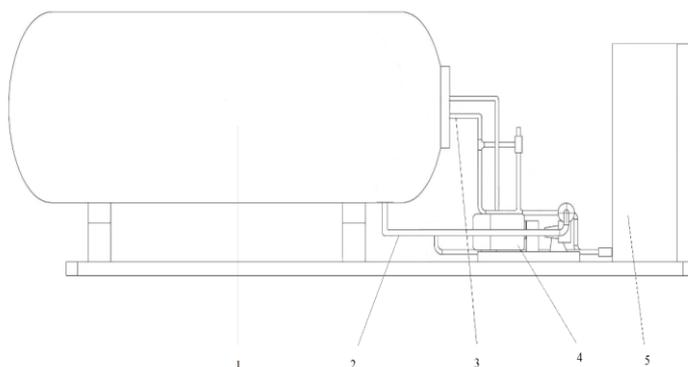
Водород – газ без цвета и запаха, в 15 раз легче воздуха. Из-за легкости молекул водорода и, следовательно, большой скорости их движения, обладает высокой теплопроводностью, сравнимой с теплопроводностью металлов. В соотношении 2:1 с кислородом образует взрывчатый гремучий газ. Температура горения – 2 800 °С. Водород является великолепным восстановителем [6].

¹ Hydrogen valves – Specifications and standards for Hydrogen Fueling Stations. URL: <https://blog.habonim.com/standardized-valves-for-hydrogen-fueling-stations> (дата обращения: 21.10.2024).

² ГОСТ Р 5526–2012/ISO/TS 20100:2008. Водород газообразный. Заправочные станции. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103135> (дата обращения: 22.11.2024).

³ ISO 19880–1:2020. Gaseous hydrogen – Fuelling stations. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:19880:-1:ed-1:v1:en> (дата обращения: 21.11.2024).

Следует провести сравнение ВЗС и АГЗС. Технологическая система АГЗС предназначена только для заправки баллонов топливной системы транспортных средств сжиженным углеводородным газом (рис. 1).



1. Резервуар для хранения топлива,
2. Газопроводы высокого и среднего давления,
3. Трубопровод,
4. Насосные установки,
5. Топливораздаточные колонки и иное оборудование.

Рис. 1. Технологическая схема АГЗС

ВЗС имеет аналогичную компоновку. Однако для эксплуатации ВЗС необходимо установить метод хранения топлива. Существуют варианты содержания водорода в различных агрегатных состояниях. Методы хранения подразделяются на три группы:

- физические в газообразном и жидком виде;
- в адсорбированном виде;
- путем химического связывания с образованием соединений, разлагающихся с выделением водорода [7, 8].

Оптимальным является хранение водорода в газообразном состоянии в специальных резервуарах, которые следует располагать под землей. Однако ввиду таких факторов, как простота монтажа, а также минимальные финансовые затраты на ввод в эксплуатацию установка надземных резервуаров наиболее целесообразна.

В газовом состоянии водород хранится под давлением до 15–35 МПа в баллонах емкостью от нескольких литров до нескольких кубических метров, что предполагает введение дополнительных мер безопасности. Возникновение утечек из резервуаров является проблемой при эксплуатации АГЗС и ВЗС. Механизм обеспечения пожарной безопасности указанных объектов защиты должен включать в себя системы предотвращения пожара, противопожарной защиты и организационно-технических мероприятий⁴.

Аварии на ВЗС показывают, что зона и характер поражения при пожаре связаны с воздействиями опасных факторов пожара (ОФП) на людей и имущество:

- пламя и искры;
- тепловой поток;

⁴ ГОСТ Р-54113–2010. Соединительные устройства для многократной заправки сжатым водородом наземных транспортных средств. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

- повышенная температура окружающей среды;
- повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения;
- пониженная концентрация кислорода;
- снижение видимости в дыму.

Учитывая аналогичные конструкции ВЗС и АГЗС, причины возникновения пожаров идентичны.

Это связано с тем, что собственник объекта защиты при его строительстве и эксплуатации ориентируется на получение прибыли, допуская нарушения при работе ВЗС. Данный вывод сделан на основании аварий на АГЗС с 2021 по 2024 г., основная причина которых – нарушения при эксплуатации ВЗС^{5,6,7}.

Так как АГЗС предназначена для обслуживания автомобильного транспорта, на ВЗС возможно производить заправку разных видов транспортных средств, в том числе железнодорожных и морских. Например, Национальная стратегия развития безуглеродного водорода во Франции предполагает создание и переоборудование поездов, где в качестве топлива используется водород, в то время как в Японии уже представлен и проходит испытания водородный поезд «Хибари»^{8,9}. Следовательно, для эксплуатации ВЗС необходимо предусматривать различные компоновочные схемы, рассчитанные на определенные виды транспортных средств.

Для обеспечения безопасности при проектировании ВЗС целесообразно учитывать противопожарные расстояния от промышленной или селитебной зоны. Находясь в промышленной зоне, ВЗС должна быть удалена от ближайших зданий и сооружений на расстояние не менее 100 м. В то время как минимальное расстояние до зданий и сооружений в селитебной зоне должно составлять около 150 м. Помимо этого, доступ к зонам подачи и хранения водорода должен быть легкодоступным, а также следует предусмотреть подъездные дороги для пожарной и иной аварийно-спасательной техники.

Вентили и системы подачи топлива должны обладать высокой герметичностью, а также устойчивостью к износам по отношению к высоким температурам. На рис. 2 показан заправочный приемник топливораздаточной колонки (ТРК) для водорода, рассчитанного на давление в 25 МПа.

Кроме того, заправочные приемники должны проектироваться из расчета рабочего ресурса не менее 15 000 циклов и 15 лет эксплуатации в соответствии с требованиями изготовителя. Для предотвращения утечки газа заправочный приемник оборудуется внутренним запорным клапаном бесконтактного типа и открываемым только от перепада давления.

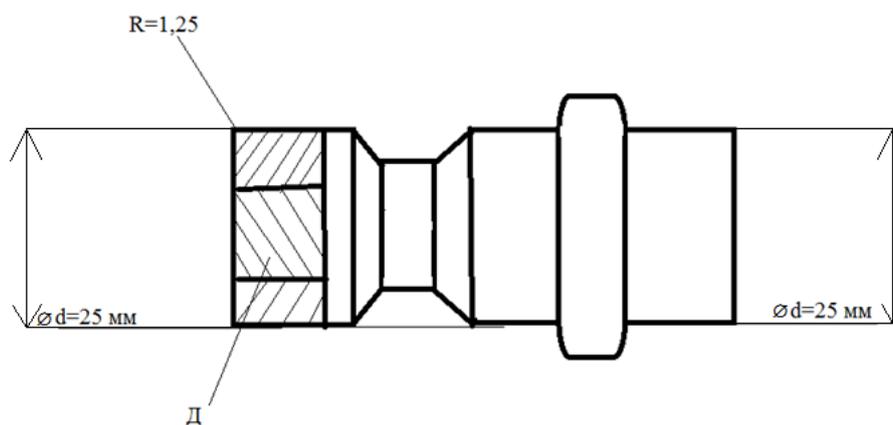
⁵ Случаи пожаров и взрывов на АЗС в России в 2018–2021 годах. URL: https://ria.ru/20210216/chp_azs-1597676160.html (дата обращения: 01.12.2024).

⁶ Открытое горение ликвидировали на АЗС в Свердловской области. URL: https://tass.ru/proisshestviya/15017265?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop (дата обращения: 02.12.2024).

⁷ В центре Грозного прогремел мощный взрыв на заправке. Горящая цистерна с топливом прилетела во двор жилого дома. URL: <https://lenta.ru/news/2024/10/12/v-tsentre-groznogo-progremel-moschnyy-vzryv-na-zapravke-goryaschaya-tsisterna-s-toplivom-priletela-vo-dvor-zhilogo-doma/> (дата обращения: 16.12.2024).

⁸ Национальная стратегия развития безуглеродного водорода во Франции. URL: <https://www.politico.eu/wp-content/uploads/2020/09/dp-hydrogren-strategy.pdf> (дата обращения 29.05.2024).

⁹ East Japan Railway unveils hydrogen-powered train stations. URL: <https://www.railway-technology.com/news/japan-railway-hydrogen-train/> (дата обращения: 06.02.2024).



**Рис. 2. Заправочный приемник для водорода на 25 МПа:
Д – поверхность уплотнения с шероховатостью $(0,5 \pm 0,05)$ мкм,
заштрихованная область не должна содержать посторонних предметов,
за исключением уплотняющего кольца; твердость материала не менее 80 HRB min;
шероховатость остальных поверхностей от 0,4 мкм до 3,2 мкм**

Помимо технических средств и резервуаров на территории ВЗС располагается сооружение, состоящее из:

1. Служебного помещения.
2. Электрощитовой.
3. Склада деталей.

Несущие стены помещения должны изготавливаться из железобетонных конструкций, с нормируемым пределом огнестойкости не менее R90 – вторая степень огнестойкости, так как рядом расположенные резервуары и ТРК являются основными источниками опасности [9].

Элементы ВЗС, в том числе и технологические сооружения, должны быть оборудованы системами оповещения и управления эвакуацией. На территории ВЗС должны быть предусмотрены средства пожаротушения, в том числе наружный противопожарный водопровод.

Рассматривается вариант возведения сооружения на территории ВЗС, которое будет состоять из помещения оператора, где будут располагаться все системы противопожарной защиты. Персонал, отвечающий за обслуживание систем подачи топлива, должен прибывать вместе с топливозаправщиком для осмотра и дальнейшей заправки резервуаров ВЗС. При возникновении аварийной ситуации оператор сообщает ближайшим экстренным службам и руководству о происходящем, после чего обеспечивает эвакуацию автотранспортных средств, находящихся поблизости.

Для обеспечения безопасности ВЗС необходимо согласовывать мероприятия по ликвидации пожара и его последствий с ближайшим аварийно-спасательным формированием. Помимо этого, ежеквартально дежурный караул вместе с персоналом станции обязаны отрабатывать действия по эвакуации людей и проведению мероприятий по предотвращению аварий на ВЗС [10].

Персонал одной смены перед началом работы на ВЗС обязан пройти инструктивные занятия по соблюдению охраны труда и пожарной безопасности. Сотрудники обязаны изучить принцип работы ВЗС, в том числе функционирование систем хранения и подачи водорода в ТРК.

Результаты исследования

Данные меры при эксплуатации ВЗС должны с самого начала обезопасить указанный объект защиты от наступления взрывопожароопасных ситуаций при их эксплуатации.

Однако их результативность следует учесть, руководствуясь методикой снижения пожарной опасности на ВЗС. Для расчета надлежит руководствоваться порядком отнесения объектов защиты к определенной категории риска при осуществлении федерального государственного пожарного надзора¹⁰. Помимо этого, следует провести оценку экономической эффективности методики снижения пожарной опасности на ВЗС.

Экономический эффект за расчетный период независимо от направленности мероприятия по обеспечению пожарной безопасности (\mathcal{E}_T), руб., рассчитывается по формуле¹¹:

$$\mathcal{E}_T = \Pi_{\text{пр}T} - \mathcal{Z}_T,$$

где \mathcal{E}_T – экономический эффект реализации мероприятия по обеспечению пожарной безопасности за расчетный период (Т); $\Pi_{\text{пр}T}$ – стоимостная оценка предотвращения потерь, соответственно, за расчетный период (Т); \mathcal{Z}_T – стоимостная оценка затрат на реализацию мероприятия по обеспечению пожарной безопасности, соответственно, за расчетный период (Т).

$\Pi_{\text{пр}T}$ определяется как разница между ущербом от пожаров за рассматриваемые периоды. В данном случае ее следует указать за 2022 ($\Pi_{\text{пр}T1}$) и 2023 ($\Pi_{\text{пр}T-1}$) годы в Санкт-Петербурге¹² и она составляет:

$$\Pi_{\text{пр}T} = \Pi_{\text{пр}T1} - \Pi_{\text{пр}T-1} = 251799870 - 225883000 = 25\,917\,870 \text{ руб.}$$

\mathcal{Z}_T состоит из затрат на:

- обслуживание системы противопожарной защиты;
- обслуживание систем предотвращения пожара;
- организационно-технических мероприятий;
- проведение пожарно-технической экспертизы;
- издержек на контрольные (надзорные) мероприятия (КНМ) и профилактические мероприятия.

Системы противопожарной защиты представляют собой комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на защиту людей и имущества от воздействия ОФП и ограничение последствий данного воздействия на объект защиты. Затраты на монтаж и обслуживание за месяц составляют в среднем 38 200 руб.

Система предотвращения пожара – комплекс организационных мероприятий и технических средств, исключающих возможность возникновения пожара на объекте защиты. Затраты в виде закупок первичных средств пожаротушения, монтажа и обслуживания за один месяц автоматической установки пожаротушения и противопожарного водопровода монтажа в среднем составляют 436 450 руб.

В качестве организационно-технических мероприятий следует рассматривать обучение мерам пожарной безопасности. Средняя стоимость данного мероприятия для оператора на ВЗС, который на объекте защиты является ответственным за пожарную безопасность, составляет 3 000 руб.

В число затрат надо включить декларирование, которое представляет из себя документ, содержащий информацию о конструктивных особенностях и мерах пожарной

¹⁰ О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации: Федер. закон от 31 июля 2020 г. № 248-ФЗ. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

¹¹ ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> (дата обращения: 12.03.2024).

¹² Анализ обстановки с пожарами и их последствиями на территории Российской Федерации за 12 мес. 2022 г. URL: <https://uzdp.pf/files/306/analiz-dnpr-2022.pdf> (дата обращения: 12.03.2024).

безопасности, которые направлены на снижение пожарного риска на объекте защиты. Средняя стоимость декларирования в виде проведения пожарно-технической экспертизы в Санкт-Петербурге составляет в среднем 30 000 руб.^{13,14}

Необходимо рассчитать издержки хозяйствующих субъектов на проведение КНМ, которые рассчитываются как произведение их средней продолжительности на среднее число часов работников, задействованных в ее проведении, и среднюю заработную плату в час (млн руб.).

Продолжительность КНМ в виде инспекционного визита ($t_{пр.}$) составляет один рабочий день (8 ч). Это связано непосредственно с размерами ВЗС как объекта защиты.

Далее необходимо определить среднее число часов работников¹⁵, задействованных в проведении инспекционного визита:

$$t_{чр.} = t_{пр.} \cdot n_{отв.} = 8 \cdot 1 = 8 \text{ (ч)},$$

где $t_{чр.}$ – число часов работников, задействованных в проведении проверки, ч.; $t_{пр.}$ – средняя продолжительность контрольного (надзорного) мероприятия – инспекционного визита; $n_{отв.}$ – количество работников хозяйствующего субъекта, задействованных в проведении КНМ (1 штатная единица – руководитель организации или лицо, ответственное за пожарную безопасность на объекте защиты).

Определение средней заработной платы одного работника ВЗС в час:

$$D_{ч} = D_{м.}/t_{р.мес.} = 95125 / 720 = 132,12 \text{ (руб./ч)},$$

где $D_{ч}$ – средняя заработная плата в час, руб.; $D_{м.} = 95\,125$ руб./мес. – средняя заработная плата в Санкт-Петербурге в 2023 г. в месяц, согласно данным Федеральной службы государственной статистики¹⁶; $t_{р.мес.} = 720$ ч – количество рабочих часов в месяц, ч, так как ВЗС – работают круглосуточно.

С помощью основных показателей определяются финансовые издержки хозяйствующих субъектов на прохождение КНМ:

$$Z_{и} = t_{пр.} \cdot t_{чр.} \cdot D_{ч} = 8 \cdot 8 \cdot 132,12 = 8456 \text{ (руб.)},$$

где $Z_{и}$ – издержки хозяйствующих субъектов на прохождение проверок, руб.

Исходя из приведенных значений, расчет $Z_{т}$ будет выглядеть следующим образом:

$$Z_{т} = C(Z_{пп} + Z_{пз} + Z_{о} + Z_{д} + Z_{и}),$$

¹³ Монтаж противопожарного водопровода. Инженерные системы в СПб. URL: <https://engineeringdom.ru/vodosnabzhenie/montazh-vodosnabzheniya/protivopozharnij-vodoprovod/> (дата обращения: 21.03.2024).

¹⁴ Северо-Западный региональный центр экспертиз. Оценочные услуги. URL: <https://szrce.ru/tarify/> (дата обращения: 18.10.2024).

¹⁵ Об утверждении перечней показателей результативности и эффективности деятельности надзорных органов МЧС России: приказ МЧС России от 18 дек. 2017 г. № 576. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71744456/> (дата обращения: 12.11.2024).

¹⁶ Рынок труда, занятость и заработная плата // Федеральная служба государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/labor_market_employment_salaries# (дата обращения: 21.03.2024).

где C – количество АГЗС в Санкт-Петербурге, которые рассматриваются как ВЗС (всего их 88 ед.)¹⁷. Это связано с тем, что в Российской Федерации наблюдается отсутствие ВЗС и можно предположить, что данные АГЗС также будут переоборудованы под хранение и заправку транспортных средств водородом ввиду развития водородной промышленности и транспорта на территории Российской Федерации¹⁸. Указанные выше меры связаны как раз с последующими строительством и эксплуатацией, а также обеспечением их пожарной безопасности), Z_{III} – затраты на обслуживание систем противопожарной защиты; Z_{IV} – затраты на обслуживание систем предотвращения пожара; Z_O – затраты на проведении организационно-технических мероприятий; Z_D – затраты на проведение пожарно-технической экспертизы; Z_{II} – издержки хозяйствующих субъектов на прохождение проверок.

Стоимостная оценка затрат на реализацию мероприятий по обеспечению пожарной безопасности соответственно за 2023 г. составит:

$$Z_T = 88 \cdot (38200 + 436450 + 3000 + 30000 + 8456) = 45417328 \text{ руб.}$$

Предполагаемый экономический эффект от реализации мероприятий по обеспечению пожарной безопасности на ВЗС по состоянию на 2023 г. может составить:

$$Э_T = 45417328 - 25917870 = 19499458 \text{ рублей.}$$

Заключение

Проведен анализ мер по обеспечению пожарной безопасности ВЗС в зарубежных странах. Рассмотрены нормативные и технические документы по снижению взрывопожароопасности ВЗС. Актуальные исследования и инженерные разработки в области ВЗС указывают на значимость данного исследования, для чего были рассмотрены меры по эксплуатации станций, где конструктивные особенности и действия сотрудников направлены на предотвращение пожаров. Все вышеуказанное подразумевает целесообразность снижения взрывопожароопасности ВЗС. Для этого необходимо определение экономической эффективности пожарной безопасности, которая представляет собой разницу между ущербом от пожара или чрезвычайных ситуаций и затрат на проведение мер по обеспечению пожарной безопасности объекта защиты.

Указанные меры обеспечения пожарной безопасности ВЗС должны учитываться для их дальнейшей эксплуатации.

Список источников

1. Солодова Н.Л., Минигулов Р.Р., Емельянычева Е.А. Водород как перспективный энергоноситель. Современные методы получения водорода // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 3. С. 137.
2. A review of hydrogen storage and transport technologies / Yang Miao [et al.] // Clean Energy. 2023. № 7. P. 190–216. DOI: 10.1093/ce/zkad021.
3. European hydrogen backbone: technical report / Rik van Rossum [et al.] // European Hydrogen Backbone. 2022. URL: <https://ehb.eu/files/downloads/ehb-report-220428-17h00-interactive-1.pdf> (дата обращения: 20.10.2024).

¹⁷ Газовые заправки АГЗС в Санкт-Петербурге. URL: https://avtonomnaya-gazifikatsiya.ru/agzs/?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_content=main&utm_term=азс%20газовые%20спб&utm_campaign=agzs_poisk&yclid=4431811756708331519 (дата обращения: 21.03.2024).

¹⁸ Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/608226547> (дата обращения: 21.02.2023)

4. Genovese M., Fragiaco P. Hydrogen refueling station: Overview of the technological status and research enhancement // *Journal of Energy Storage*. 2023. Vol. 61. P. 106758. DOI: 10.1016/j.est.2023.106758.

5. Current standards and configurations for the permitting and operation of hydrogen refueling stations / M. Genovese [et al.] // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2023. Vol. 48. Iss. 51. P. 19357–19371. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.01.324.

6. Фомин А.В., Егоров А.А., Борисова В.А. Обеспечение пожарной безопасности водородных заправочных станций // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. 2022. Т. 6. № 3. С. 305–311.

7. Шебеко Ю.Н. Пожарная безопасность водородных автозаправочных станций // *Пожаровзрывобезопасность*. 2020. Т. 29. № 4. С. 42–50.

8. Гордиенко Д.М., Шебеко Ю.Н. Пожарная безопасность объектов инфраструктуры транспорта на водородном топливе // *Пожаровзрывобезопасность*. 2022. Т. 31. № 2. С. 41–51.

9. Егоров А.А., Фомин А.В. Сравнительный анализ водородных заправочных станций и автомобильных газовых заправочных станций // *Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию образования*. М.: ВНИИПО МЧС России, 2022. С. 708–713.

10. Швырков С.А., Воробьев В.В., Ибатулин Р.К. Оценка пожарного риска для автомобильной газозаправочной станции от расположенных вблизи автомагистрали очистных сооружений // *Технологии техносферной безопасности*. 2015. № 4 (62). С. 64–73.

References

1. Solodova N.L., Minigulov R.R., Emel'yanycheva E.A. Vodorod kak perspektivnyj energonositel'. *Sovremennye metody polucheniya vodoroda* // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2015. Т. 18. № 3. С. 137.

2. A review of hydrogen storage and transport technologies / Yang Miao [et al.] // *Clean Energy*. 2023. № 7. P. 190–216. DOI: 10.1093/ce/zkad021.

3. European hydrogen backbone: technical report / Rik van Rossum [et al.] // *European Hydrogen Backbone*. 2022. URL: <https://ehb.eu/files/downloads/ehb-report-220428-17h00-interactive-1.pdf> (data obrashcheniya: 20.10.2024);

4. Genovese M., Fragiaco P. Hydrogen refueling station: Overview of the technological status and research enhancement // *Journal of Energy Storage*. 2023. Vol. 61. P. 106758. DOI: 10.1016/j.est.2023.106758.

5. Current standards and configurations for the permitting and operation of hydrogen refueling stations / M. Genovese [et al.] // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2023. Vol. 48. Iss. 51. P. 19357–19371. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.01.324.

6. Fomin A.V., Egorov A.A., Borisova V.A. Obespechenie pozharnoj bezopasnosti vodorodnyh zapravochnyh stancij // *Vestnik Universiteta grazhdanskoj zashchity MCHS Belarusi*. 2022. Т. 6. № 3. С. 305–311.

7. Shebeko Yu.N. Pozharnaya bezopasnost' vodorodnyh avtozapravochnyh stancij // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2020. Т. 29. № 4. С. 42–50.

8. Gordienko D.M., Shebeko Yu.N. Pozharnaya bezopasnost' ob"ektov infrastruktury transporta na vodorodnom toplive // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2022. Т. 31. № 2. С. 41–51.

9. Egorov A.A., Fomin A.V. Sravnitel'nyj analiz vodorodnyh zapravochnyh stancij i avtomobil'nyh gazovyh zapravochnyh stancij // *Aktual'nye problemy pozharnoj bezopasnosti: materialy XXXIV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 85-letiyu obrazovaniya*. М.: ВНИИПО МЧС России, 2022. С. 708–713.

10. Shvyrkov S.A., Vorob'ev V.V., Ibatulin R.K. Ocenka pozharnogo riska dlya avtomobil'noj gazozapravochnoj stancii ot raspolozhennyh vblizi avtomagistrali ochistnyh sooruzhenij // *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*. 2015. № 4 (62). С. 64–73.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 27.06.2024; одобрена после рецензирования: 27.11.2024;
принята к публикации: 10.12.2024

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 27.06.2024; approved after review: 27.11.2024;
accepted for publication: 10.12.2024

Информация об авторах:

Егоров Андрей Александрович, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: andreey-e@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2495-3829>, SPIN-код: 8971-4750

Information about authors:

Egorov Andrey A., adjunct of the faculty of training highly qualified personnel of Saint-Petersburg university of the State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: andreey-e@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2495-3829>, SPIN: 8971-4750